

На основании проведенных исследований можно предложить следующий режим пленкообразования ЛКП полиуретановым лаком Verinlegno I 362 VLX 36 (Италия) при аэроионизации.

1. Напряжение на излучателе ЭАУ $U = 24$ кВ.
2. Расстояние между образцом и излучателем $h = 0,025$ м.
3. Периодическое перемещение образца с ЛКП в процессе пленкообразования с учетом характера распределения электрического поля ЭАУ.
4. Расстояние между электродами излучателя $S = 0,04$ м.

Библиографический список

1. Рыбин, Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов [Текст]: Учебник для вузов / Б.М. Рыбин; М.: МГУЛ, 2003. 568 с.
2. Газеев, М.В. Эффективность применения аэроионизации для интенсификации отверждения лакокрасочных покрытий, образованных алкидными лаками на древесине [Текст] / М.В. Газеев, Е.В. Тихонова // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды III международного евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2008. С. 37-41.
3. Газеев, М.В. Влияние аэроионизации на процесс пленкообразования полиуретановых лакокрасочных покрытий [Текст] / М.В. Газеев, Е.В. Тихонова // Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов из древесины: пиломатериалы, фанера, деревянные дома, заводского изготовления, столярно-строительные изделия. Материалы Международной научно-практической конференции. С.-Петербург, 2009. С. 60-64.
4. Скипетров, В.П. Феномен «живого» воздуха [Текст]: Монография / В.П. Скипетров, Н.Н. Беспалов, А.В. Зорькина; Саранск: СВМО, 2003. 93 с.

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО ДЕРЕВЯННЫХ ФРЕЗЕРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ *ACCURACY AND QUALITY OF THE WOODEN MILLED SURFACES*

Качество механической обработки изделий на станках характеризуется точностью размеров и формы деталей и шероховатостью обработанных поверхностей.

Точность размеров и формы деталей. С переходом промышленных предприятий к массовому производству продукции появилась необходимость в выработке единого подхода к внедрению принципов взаимозаменяемости. Такой единый подход к нормированию требований к точности размеров деталей реализован созданием системы допусков и посадок.

В нашей стране первые попытки по созданию общегосударственной системы допусков и посадок относятся к 1914 - 1915 гг., когда профессор Н.Н. Куколевский разработал такую систему для использования ее для военных заказов.

В 1924 - 1925 гг. под руководством профессора А.Д. Гатцуна был разработан проект стандарта “Допуски для пригонок”. В 1929 г. был утвержден первый ОСТ (общегосударственный стандарт) для общего применения. С этого времени у нас в стране действует система, которую обычно называют системой ОСТ. Она используется до сих пор.

Первый проект международной системы допусков и посадок был разработан в 1931 г. для размеров от 1 до 180 мм, а в 1935 г. - до 500 мм. Эти проекты были разработаны международной организацией по стандартизации (ИСА). На базе этих проектов страны мира создавали национальные стандарты (1932 - 1936 гг.) и внедряли их до 1940 г. Официально международная система допусков и посадок ИСА была принята в 1940 г.

После второй мировой войны была создана новая международная организация по стандартизации ИСО, а в 1962 г. были разработаны рекомендации ИСО №286 “Система допусков и посадок ИСО. Часть 1. Общие сведения. Допуски и отклонения”. Эта система допусков не отличалась от проекта ИСА 1940 г.

Наша система допусков (система ОСТ) отличалась от международной системы ИСА. Она неоднократно дополнялась (но не изменялась), и все эти дополнения с 1932 г. проводились путем заимствования из системы ИСА.

После создания Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) острее стал вопрос о создании единой системы допусков и посадок для стран членов СЭВ. Исходя из этого был разработан стандарт СЭВ 145-75 “Единая система допусков и посадок СЭВ”. В СССР были разработаны стандарты на единую систему допусков и посадок (ЕСДП) (ГОСТ 25346-89 – ГОСТ 25349-82, ГОСТ 25670-83 [1], для изделий из древесины и древесных материалов ГОСТ 6449.1-82 – ГОСТ 6449.5 – 82, термины и определения по ГОСТ 2140-81). При переходе на эту систему по целому ряду изделий для нашей промышленности нецелесообразно было перерабатывать всю техническую документацию. Поэтому еще некоторое время использовались две системы: система ЕСДП и система ОСТ. При разработке новых изделий используется только ЕСДП.

Основу ЕСДП составляют допуски, квалитеты и основные отклонения, определяющие положение полей допусков относительно нулевой линии. Термины и их определения регламентированы ГОСТ 25346-89.

Шероховатость обработанных поверхностей. Основоположники науки о резании древесины (начиная с 1870 г.) для характеристики обработанной поверхности использовали понятия “ровность”, “гладкость”. Неровности сравнивались только визуально.

Впервые количественная оценка неровностей деревянных поверхностей рассмотрена в исследовательских работах Ф.М. Манжоса и Б.М. Буглая (1947...1950 г.г.). На базе этих работ Б.М. Буглаем был подготовлен ГОСТ 7016-54 “Чистота поверхности древесины. Определения и классификация”. ГОСТом было установлено 10 классов чистоты поверхности. На поверхностях первого класса чистоты глубина неровностей составляла 1250...1600 мкм, десятого класса – 8...16 мкм. Практическое применение стандарта позволило выявить его недостатки.

В 1968 г. был принят новый стандарт ГОСТ 7016-68 “Древесина. Классы шероховатости и обозначения”. От понятия “чистоты поверхности” отказались, т.к. это понятие медицинского происхождения. Понятие “шероховатость” наиболее точно отра-

жает техническое происхождение неровностей. ГОСТ устанавливал 12 классов шероховатости (см. табл. 1).

Таблица 1 – Классы шероховатости по ГОСТ 7016-68

Высота неровно- стей, мкм	1250...1600	800...1250	500...800	315...500	200...315	100...200	60...100	30...60	16...30	8...16	4...8	√4
Классы	∇∂1	∇∂2	∇∂3	∇∂4	∇∂5	∇∂6	∇∂7	∇∂8	∇∂9	∇∂10	∇∂11	∇∂12

В 1975 г. стандарт был снова пересмотрен. ГОСТ 7016-75 "Древесина. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики" исключил понятие о классах шероховатости, установил параметры шероховатости, численные значения которых изменялись в диапазоне от 1600 мкм до 4 мкм.

В 1982 г. содержание и название стандарта еще раз было изменено. Был принят ГОСТ 7016-82 "Древесина. Параметры шероховатости поверхности". Это действующий в настоящее время стандарт.

Виды неровностей. В общем виде обработанную на станках поверхность можно изобразить в виде волнистой линии, образованной гребешками и впадинами, на которой различают длину волны L и высоту гребней H от основания впадин. Для характеристики такой поверхности вводят коэффициент формы поверхности

$$K = \frac{L}{H}.$$

На обработанной методом фрезерования, например, поверхности, различают макронеровности, волнистость, неровности с нерегулярным и регулярным шагом, микронеровности и субмикронеровности.

Макронеровности представляют собой отклонения поверхности от заданной геометрической формы (выпуклость и вогнутость для плоскостей). Для макронеровностей значение $K > 1000$. Для $H = 0,4$ мм, например, $L > 400$ мм [1].

К неровностям с нерегулярным шагом относятся разнообразные неровности, образованные при разрушении древесины или при вибрации. К ним относятся, риски, ворсистость и мшистость, вырывы, заколы (углубления по границе годичного слоя, структурные неровности поверхностей древесностружечных плит). Неровности с нерегулярным шагом можно прогнозировать, используя экспериментальные данные.

К неровностям с регулярным шагом относятся неровности упругого восстановления по годовым слоям и кинематическая волнистость, для которых $40 < K < 1000$. Параметры кинематической волнистости можно рассчитать. Для $H = 0,4$ мм, например, $16 \text{ мм} < L < 400 \text{ мм}$.

Микронеровности – это неровности в виде мелких гребешков и впадин. Их появление обусловлено микрогеометрией режущей кромки лезвия, направлением резания по отношению волокон древесины, режимом обработки, породой древесины и влажностью. Известно, что неровности режущей кромки лезвия копируются на обработанной поверхности. Величина отпечатка зависит от упругих свойств древесины. Так, при средней шероховатости рабочей зоны лезвия 7,5 мкм на обработанной поверхности детали из древесины липы образуются неровности около 20 мкм, а граба – 8 мкм.

Неровности упругого восстановления имеют вид чередующихся выступов и впадин по годовым слоям. Их появление обусловлено различной величиной упругости ранней и поздней зон древесины по этим слоям.

Шероховатостью называют совокупность микронеровностей на поверхности с относительно малыми шагами, для которых $K < 40$. Для $H = 0,4$ мм, например, $L < 16$ мм. Шероховатость обработанной поверхности характеризует качество поверхностного слоя, а волнистость и макронеровность – точность обработки, т.е. отклонение поверхности от номинала.

В зависимости от размеров микронеровностей они могут попасть в разряд волнистости или шероховатости.

Субмикронеровности – неровностей на впадинах и выступах микронеровностей.

Шероховатость деревянной поверхности по ГОСТ 7016-82 характеризуется параметрами, их числовыми значениями и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости. Анатомические неровности древесины при этом не учитываются.

При повышенных требованиях к шероховатости допускается учитывать анатомические неровности.

ГОСТ устанавливает пять параметров. Числовые значения параметров в мкм принимаются из следующих предпочтительных рядов чисел:

$R_{m\ max}$, R_m и R_z - 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,3, 3,2;

R_a , S_z – 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8.

Шероховатость измеряют преимущественно на базовой длине l . Только один параметр шероховатости $R_{m\ max}$ находится без использования базовой длины. На практике он находится путем визуального сравнения поверхности с поверхностью натуральных образцов. **Базовая длина** – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей поверхности, ее длина регламентирована ГОСТом и изменяется в пределах 0,8; 2,5; 8,0 и 25 мм.

Параметр $R_{m\ max}$ используют при определении шероховатости на поверхностях пиломатериалов, полученных на лесопильных рамах, ленточнопильных и круглопильных станках, а также поверхностях лущеного и строганного шпона. Остальные параметры используют для характеристики поверхностей фрезерованных, шлифованных и др.

Определение шероховатости. Методы определения шероховатости поверхности регламентированы ГОСТ 15612-85 "Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности".

Для измерения неровностей глубиной 500...1600 мкм рекомендуется использовать индикаторный глубиномер И402 или И405, измерительный наконечник которых имеет форму полусферы радиусом $4,0 \pm 0,1$ мм. Индикатор часового типа прибора зафиксирован в колодке. Его измерительный наконечник выступает над опорной поверхностью колодки на 1,6...2,0 мм. Перед измерением колодку прибора ставят на плоскопараллельное стекло, и стрелку индикатора совмещают с нулевым делением шкалы. Затем на исследуемой деревянной поверхности визуально определяют наиболее грубый участок, на него ставят глубиномер и производят измерения.

Неровности глубиной 6...63 мкм на фрезерованных, строганных и шлифованных поверхностях можно измерять микроскопом МИС11 (снят с производства). Для измерения неровностей глубиной 6...1600 мкм можно использовать микроскоп ТСП-4М.

Для более точных измерений глубины неровностей рекомендуются профилограф-профилометры (диапазон измерений 0,02...250 мкм) модели 201 и 252 или профилометры модели 253 и 283 и 296 (диапазон измерений 0,02...10 мкм). Это дорогие приборы, к тому же сняты с производства. В настоящее время только по индивидуальным заказам предприятие ООО «Микроавтоматика» (г. Пенза) выпускает профилометр ПМД 2-100 (диапазон измерений 0,5...800 мкм). Для измерений датчик профилометра ставится на контролируемую поверхность образца и производится запись профиля поверхности на диаграммную ленту. Далее запись расшифровывается.

В производственных условиях шероховатость обработанных поверхностей деталей часто определяют по эталонным деревянным образцам. Образцы имеют форму исследуемой детали, выполнены из той же породы и обработаны тем же методом (пилением, фрезерованием, шлифованием и т.д.). Образцы имеют размеры 300×200 мм (для брусковых деталей – длина образца 300 мм). На предприятии должно быть не менее двух комплектов образцов: первый передается на рабочее место, а второй хранится в лаборатории.

Расчет глубины неровностей. При цилиндрическом фрезеровании основным видом неровностей, образующихся на обработанной поверхности, является кинематическая волнистость. Каждый зуб фрезы оставляет на обработанной поверхности волну. Гребешки волн образуются при пересечении траекторий двух смежных зубьев фрезы радиусом R (рис. 1).

Из треугольника ОВС следует

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + (R - y)^2;$$

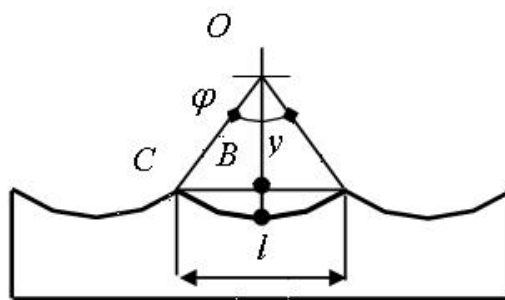


Рисунок 1 – Схема к расчету глубины волны

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + R^2 - 2Ry + y^2;$$

$$\frac{l^2}{4} = y(2R - y).$$

Отсюда

$$y \approx \frac{l^2}{8R}, \quad (1)$$

где y – глубина волны, мм;

l – длина волны, мм;

R – радиус режущей кромки лезвия цилиндрической фрезы, мм.

В производственной деятельности длину волны измеряют на обработанной детали и вычисляют шероховатость по формуле (1).

В проектных работах за длину волны принимают величину подачи за один оборот фрезы, т.е. $l = S_o = S_z Z$. Предельно допустимая длина волны в зависимости от шероховатости обработанной поверхности принимается по таблице 2.

Таблица 2 – Предельно допустимая длина волн на обработанной поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании

Высота неровностей $R_m \text{ max, мкм}$	Длины волн l , мм, при диаметре окружности резания D , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
12,5	2,0	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8
25	2,8	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	4,9	5,2
50	4,0	4,7	5,2	5,6	6,2	6,6	7,0	7,4
100	5,2	6,0	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,5
200	7,2	8,5	9,5	10,3	11,0	12,0	12,6	13,6

Еще в исследовательских работах Ф.М. Манжоса было доказано, что шероховатость фрезерованной поверхности зависит от точности расположения режущих кромок относительно окружности резания, однако только в последние годы автору данной статьи удалось разработать методику расчета шероховатости в зависимости от точности подготовки фрезы.

Расчет шероховатости по радиусам лезвий фрезы. Траектории режущих кромок фрезы в древесине представляют собой циклоиды. Делая допущение, что режущие кромки зубьев перемещаются в древесине по дугам окружностей, можно найти координаты гребней волн (точек пересечения траекторий смежных зубьев фрезы) [2]:

$$y_i = R - \sqrt{R_{li}^2 - \left[\frac{S_z}{2} + \frac{\Delta(2R_{li} - \Delta)}{2S_z} \right]^2}, \quad (2)$$

$$x_i = S_z(i-1) + \frac{\Delta(2R_{li} - \Delta)}{2S_z} + \frac{S_z}{2}, \quad (3)$$

где y – высота гребня, мм; x – абсцисса гребня, мм; S_z – подача на зуб, мм; i – номер пары зубьев; Δ – неточность размеров радиусов, мм; $\Delta = \Delta_{1i-2i} = R_{1i} - R_{2i}$.

Пример 1. Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий равны $R = R_1 = 70,06$ мм, $R_2 = 70,00$ мм, $R_3 = 69,96$ мм, $R_4 = 70,02$ мм.

Требуется определить координаты гребней волн и шероховатость фрезерованной поверхности.

Исходные данные и расчеты рекомендуется представить в виде таблицы 3.

Шероховатость поверхности $R_m \text{ max} = 101$ мкм, т.к. гребень высотой 109 мкм будет срезан предыдущими зубьями.

Из (2) следует

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)}. \quad (4)$$

Таблица 3 – Форма расчета координат гребней волн

Радиусы пар зубьев	$R_1...R_2$	$R_2...R_3$	$R_3...R_4$	$R_4...R_1$
Подача на зуб, мм	2	2	2	2
Максимальный радиус фрезы, мм	70,06	70,06	70,06	70,06
Радиусы лезвий в паре:				
R_{1i} , мм	70,06	70,0	69,96	70,02
R_{2i} , мм	70,0	69,96	70,02	70,06
Погрешность в паре лезвий, $\Delta i = R_{1i} - R_{2i}$, мм	0,06	0,04	-0,06	-0,04
Порядковый номер пары, i	1	2	3	4
Высота гребней по (1), y_i , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
Абсцисса гребней по (2), x_i , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

Отсюда следует два правила. **Правило 1:** неточность радиусов Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн y .

Правило 2: значение подачи на зуб складывается из двух слагаемых. Первое из них равно половине максимального значения S_z при $\Delta=0$, а второе меньше первого с поправкой на погрешность длин радиусов Δ .

Исследованиями Ф.М. Манжоса установлено, что при установке ножей в ножевые валы или ножевые головки радиусы резания отдельных режущих кромок отличаются друг от друга на величину 0,07...0,15 мм. Прифуговка лезвий уменьшает неточность расположения режущих кромок, после чего $\Delta=0,04...0,06$ мм.

В табл. 4 приведены значения подачи на зуб, полученные по формуле (4). Максимальное значение S_z получено при $\Delta=0$, минимальное – при $\Delta=y$.

Таблица 4 – Предельные значения подачи на зуб S_z , мм, при цилиндрическом фрезеровании древесины

Высота неровностей $R_{m \max}$, мкм	Диаметр окружности резания D , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
6,3	0,6/1,2	0,7/1,4	0,8/1,6	0,9/1,7	0,9/1,9	1,0/2,0	1,1/2,1	1,1/2,2
12,5	0,9/1,7	1,1/2,0	1,2/2,2	1,3/2,4	1,4/2,6	1,5/2,8	1,6/3,0	1,7/3,2
25	1,3/2,4	1,5/2,8	1,7/3,2	1,8/3,5	2,0/3,7	2,1/4,0	2,3/4,2	2,4/4,5
50	1,7/3,5	2,1/4,0	2,3/4,5	2,6/4,9	2,8/5,3	3,0/5,7	3,1/6,0	3,3/6,3
100	2,4/4,9	2,8/5,7	3,2/6,3	3,5/6,9	3,9/7,5	4,1/8,0	4,4/8,5	4,6/8,9
200	3,7/6,9	4,3/8,0	4,8/8,9	5,2/9,8	5,7/10,6	6,1/11,3	6,4/12,0	6,8/12,6
400	5,1/9,8	5,9/11,3	6,6/12,6	7,3/13,8	7,8/14,9	7,4/16,0	8,9/17,0	9,4/17,9
800	6,9/13,8	8,2/15,9	9,2/17,8	10,1/19,5	10,9/21,1	11,7/22,6	12,4/23,9	13,1/25,2

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей, которая оказывает влияние на эксплуатационные показатели изделий (трение и износ подвижных соединений, качество лакокрасочных покрытий, точность измерений и др.). Требования к шероховатости поверхности устанавливаются исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шерохо-

ватости поверхности не устанавливаются и шероховатость этой поверхности не контролируется.

Точность размеров и шероховатость обработанных поверхностей взаимосвязаны, хотя прямой связи между точностью и шероховатостью поверхности нет. Так, например, к самым неточным поверхностям по допуску размера, но предназначенных для лаковой отделки, предъявляют весьма высокие требования шероховатости. Деревянные рукоятки выполняют с низкой точностью размеров, но обязательно шлифуют, добиваясь высокой гладкости их поверхности. Вместе с тем при выборе шероховатости поверхности следует учитывать, что величина микронеровностей поверхности должна укладываться в поле допуска детали, иначе говоря, величина шероховатости должна быть меньше поля допуска IT детали. При назначении шероховатости параметрами R_m , R_z , R_a высоту микронеровностей принимают равной (0,24-0,5) IT.

Точность сопряжения подвижных посадок так же зависит от шероховатости поверхностей деталей, образующих посадку. При неправильно выбранной шероховатости крупные микронеровности в процессе эксплуатации изнашиваются, образуя дополнительный зазор, который может перевести посадку в другой квалитет или в другую посадку. Однако, чем больше прочность древесины, из которой сделаны детали соединения, тем в меньшей степени величина шероховатости сказывается на точности сопряжения деталей.

Библиографический список

1. Белкин, И.М. Допуски и посадки [Текст]: учеб. пособие /И.М. Белкин. М.: Машиностроение, 1992. 528 с
2. Глебов, И.Т. Обработка древесины методом фрезерования [Текст]: учеб. пособие /И.Т. Глебов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 192 с.

Глухих В.Н. (СПбГЛТА, г. Санкт-Петербург, РФ)

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНОГО ТЕЛА С УЧЕТОМ НАЙДЕННЫХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ НЕЗАВИСИМЫМИ ПОСТОЯННЫМИ УПРУГОСТИ

DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR CYLINDRICAL ANISOTROPIC SOLID SUBJECT TO BETWEENNESS RELATION INDEPENDENT CONSTANTS OF RESILIENCE

При решении задач о напряжениях в цилиндрически анизотропном теле при механических и термических воздействиях необходимо исходить из уравнений теории упругости, которые должны учитывать различие свойств материала в главных направлениях анизотропии и содержать в соответствии с этим более двух упругих постоянных.

В теории упругости анизотропного тела известно дифференциальное уравнение в частных производных четвертого порядка в функции напряжений без учета объемных сил: